

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

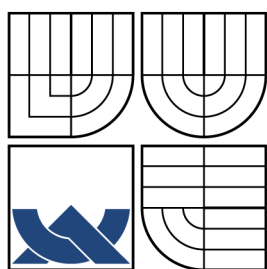
PŘENOSOVÉ PARAMETRY OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

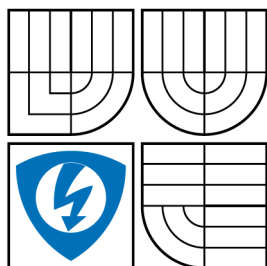
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV JEŽEK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

PŘENOSOVÉ PARAMETRY OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

TRANSMISSION PARAMETERS OF OPTICAL ACCESS NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

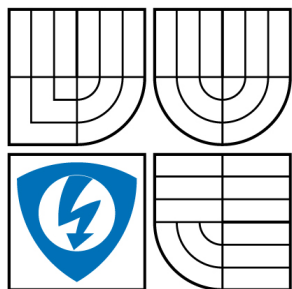
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV JEŽEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. DUŠAN HAVELKA

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Student: Ježek Jaroslav
Ročník: 3

ID: 78491
Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Přenosové parametry optických přístupových sítí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudovat problematiku optických přístupových sítí. Zabývat se přenosovými parametry optických vláken používaných pro přístupové sítě a způsoby měření přenosových parametrů a jejich případné kompenzace. Provést měření útlumu na optické síti s návrhem dvou laboratorní úlohy a vypracovat zadání laboratorních úloh.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Mikrom, Praha 2001.

[2] GIRARD. A., Guide to WDM Technology. EXFO, Quebec, 2002.

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 4.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Dušan Havelka

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jaroslav Ježek

Bytem:

Narozen/a (datum a místo): 9.12.1985, Uherské Hradiště

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Přenosové parametry optických přístupových sítí

Vedoucí/školicitel VŠKP: Ing. Dušan Havelka

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě - počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

ABSTRAKT

Podstatou této bakalářské práce je poznání teoretický základů pro měření na optických vláknech, prvcích a také optických trasách. Práce popisuje metody měření a zjišťování parametrů těchto sítí. Následná aplikace získaných znalostí na dvou laboratorních úlohách. První úloha spočívá ve využití metody vložených ztrát pro změření útlumu vlákna a následné využití metody OTDR pro lokalizaci závady. Druhá úloha se zabývá měřením útlumu na pasivním optickém prvku pouze metodou vložených ztrát. Laboratorní úlohy byly popsány a z každé z ní byl vyvozen patřičný závěr a poznatky.

KLÍČOVÁ SLOVA

optické záření, optické vlákno, disperze, útlum, konektor

ABSTRACT

The essence of this thesis is the cognition of theoretical basis for measuring on optical fibres, elements and optical wireway as well. This work describes the methods of measuring and detection of parameters of these networks. The gained knowledge is followed by its application on two laboratory tasks. The first task is focused on usage of method of embedded loss for measuring of attenuation of fibre and followed by usage of the method OTDR for localization of defect. The second task is focused on measuring of attenuation on passive optical element using only the method of embedded losses. The laboratory tasks were described and respective conclusion and findings were drawn from each other.

KEYWORDS

optical radiation, optical fibre, dispersion, signal attenuation, connector

JEŽEK J. *Přenosové parametry optických přístupových sítí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Dušan Havelka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Přenosové parametry optických přístupových sítí“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Dušanu Havelkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Taktéž bych chtěl poděkovat Střední škole informatiky a spojů v Brně, kde mě pánové Ing. Petr Mazuch a Ivo Peňaz dovolili uskutečnění měření na optické laboratorní síti.

OBSAH

Úvod	13
1 Optická Vlákná	14
1.1 Základní pojmy z vláknové optiky	14
2 Přenosové parametry optických vláken	16
2.1 Měření útlumu	16
2.1.1 Metoda dvou délek	17
2.1.2 Metoda vložených ztrát	17
2.1.3 Metoda zpětného rozptylu	18
2.2 Měření disperze	20
2.2.1 Chromatická disperze vícevidových optických vláken	21
2.2.2 Chromatická disperze jednovidových optických vláken	22
3 Optický konektor a jeho přenosové parametry	25
3.1 Metody pro měření parametrů optických konektorů	27
3.1.1 Měření přenosových parametrů optického konektoru metodou OTDR	28
3.1.2 Měření přenosových parametrů optického konektoru metodou transmisní	28
4 Optické přístupové sítě	30
4.1 Uspořádání optické přístupové sítě	30
4.1.1 Aktivní optické přístupové sítě	32
4.1.2 Specifika přenosu optického signálu v přístupové síti	33
4.2 Detektory pro optické přijímače	34
4.3 Multiplexory a demultiplexory	35
4.3.1 Vláknové Mřížky	36
5 Praktická část	39
5.1 Měření útlumu optického vlákna	40
5.1.1 Zadání:	40
5.1.2 Popis měření:	40
5.1.3 Zpracování úlohy:	40
5.1.4 Naměřené hodnoty:	41
5.1.5 Závěr:	43
5.2 Měření útlumu na optickém děliči - splitteru s agregací 1:4	44
5.2.1 Zadání:	44

5.2.2	Popis měření:	44
5.2.3	Zpracování úlohy:	45
5.2.4	Naměřené hodnoty:	46
5.2.5	Závěr:	47
6	Závěr	48
	Literatura	50
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	51

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Struktura vlákna se skokovým profilem indexu lomu	14
2.1	Postup měření útlumu metodou dvou délek	17
2.2	Měření útlumu metodou vložených ztrát	18
2.3	Blokové schéma metody zpětného rozptylu	19
2.4	Ideální průběh křivky zpětného rozptylu pro podélně homogenní vlákno	19
2.5	Příklad reálné křivky zpětného rozptylu pro podélně homogenní vlákno	20
2.6	Závislost koeficientů chromatické disperze D na vlnové délce záření pro vlákno z křemenného skla	22
2.7	Průběh koeficientů chromatické disperze pro křemenná jednovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu	22
2.8	Průběh koeficientů chromatické disperze a profil indexu lomu jedvi- dových vláken s posunutou disperzní charakteristikou	23
2.9	Průběh koeficientů chromatické disperze a profil indexu lomu jedvi- dových vláken s plochou disperzní charakteristikou	23
3.1	Ideální průběh křivky zpětného rozptylu a odraz zařízení na konektoru	27
3.2	Blokové schéma měřicí soustavy OTDR	28
3.3	Schéma optické trasy při měření útlumu odrazu konektoru – Optokon	29
4.1	Uspořádání optické přístupové sítě [2]	31
4.2	Použití 2 spliteru s agregací 1:4 a 1:6	32
4.3	Aktivní optické přístupové sítě [2]	33
4.4	Vláknová mřížka	36
4.5	Základní homogenní vláknová mřížka	37
4.6	Chirpovaná mřížka	37
4.7	Průběh indexu lomu apodizované mřížky	37
5.1	Měřicí souprava EXFO	39
5.2	Měřicí souprava EXFO FTB-400	39
5.3	Optické vlákno délky l	40
5.4	Optický konektor FC/APC	40
5.5	Schéma zapojení pro nastavení offsetu	41
5.6	Schéma zapojení pro měření optického vlákna	41
5.7	Metoda OTDR na vlákně dlouhém 300m	42
5.8	Praktické měření úlohy jedna směřicí soustavou Exfo	43
5.9	Zařízení SFT-SWB	44
5.10	Vlnový multiplex s agregací 1:4	45
5.11	Schéma zapojení pro nastavení offsetu	45
5.12	Schéma zapojení pro vlastní měření	46
5.13	Zařízení SFT-S35-01X04-25	47

SEZNAM TABULEK

5.1	Naměřené hodnoty optického vlákna 1310 a 1550 nm.	42
5.2	Změřený výstupní výkon na jednotlivých kanálech pro λ 1310 a 1550 nm.	46
5.3	Spočítaný útlum optického děliče pro λ 1310 a 1550 nm.	46

ÚVOD

Hlavním cílem bakalářské práce, je pokud možno podat ucelený teoretický přehled o přenosových parametrech optických přístupových sítích. Dále z těchto teoretických poznatků vycházet a aplikovat je na dvě laboratorní úlohy. Protože se domnívám, že s prací přijdou do styku i netechnicky poučení čtenáři, budu snažit danou problematiku co nejlépe nastínit. Práce je rozdělena do šesti základních částí.

V úvodu se čtenář seznámí s některými základními pojmy z oblasti vláknové optiky .

Druhá část práce je věnována měření přenosových parametrů vláken jednovodových a vícevodových. Zde se setkáváme s měřicími veličinami, jako jsou: útlum optického vlákna, disperze optických vláken . V kapitole jsou rovněž popsány metody měření útlumu.

Třetí část práce je věnována měření optických konektorů. Jsou zde popsány metody a způsoby pro měření přechodového útlumu optických spojek.

Čtvrtá část práce popisuje optické přístupové sítě, jejich základní uspořádání, dělení aj.. Jsou zde popsány optické sítě aktivní a optické sítě pasivní. S tím souvisící popis multiplexoru a demultiplexoru. Popsaná vláknová mřížka, jako jedna nejdůležitější části multiplexoru a demultiplexoru.

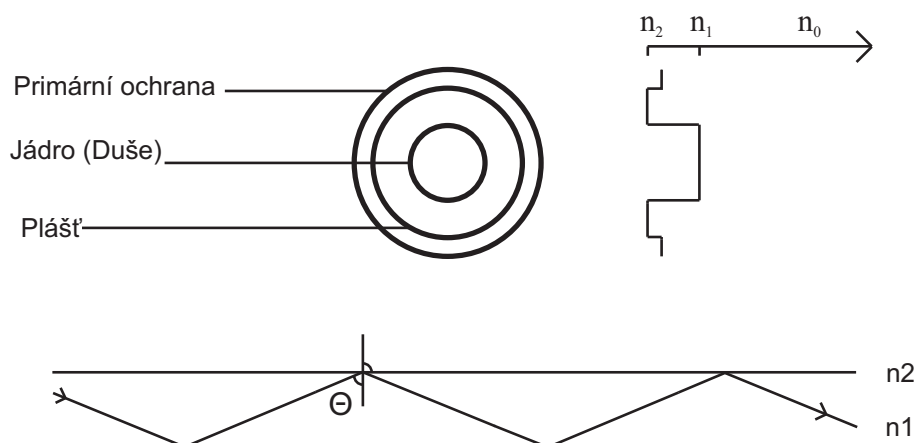
Pátá část se zabývá dvěma laboratorními úlohami, kde jsem se rozhodl pro měření útlumu optického vlákna metodou vozených ztrát. Druhou úlohou je změření útlumu na jednotlivých kanálech vlnového děliče-splitteru. Tato kapitola obsahuje zadání, popis úlohy, postup měření, vypracování a závěr.

Poslední kapitola je závěr, celkové shrnutí práce.

1 OPTICKÁ VLÁKNA

1.1 Základní pojmy z vláknové optiky

Pod pojmem optická vlákna, rozumíme podélně homogenní optické (dielektrické) vlnovody. Jejich schopností vést optické záření je dosaženo tím, že je v jejich příčném řezu vytvořen vhodný profil indexu lomu. Struktura tohoto typu vlákna je znázorněna viz obr.1.1, skládá se z jádra s indexem lomu n_1 , pláště s indexem lomu n_2 a z primární ochrany. Jádro a plášť jsou zpravidla z křemičitého skla a liší se pouze obsahem dopantů, které ovlivňují přesnou hodnotu indexu lomu. Primární ochrana bývá nejčastěji tvořena UV vytvrditelnou silikónovou pryskyřicí a na vlákno bývá nanášena okamžitě po jeho vytažení. Slouží především k mechanické a chemické ochraně křehkého materiálu skla.



Obr. 1.1: Struktura vlákna se skokovým profilem indexu lomu

Na základě vlnové analýzy lze ukázat, že vláknem (vlnovodem) se šíří tzv. vidy elektromagnetického pole. Každý vid je charakterizován určitým příčným rozložení elektromagnetického pole ve vlákně. Každým optickým vláknem se může šířit pouze konečný počet vidů, (diskrétní spektrum) tzv. vedených vidů. Kromě toho lze při analýze najít nekonečně mnoho vidů (spojité spektrum), které se vláknem nešíří a jsou tedy vyzařované do prostoru mimo vlákno. Proto se označují jako vidy vyzařované. Při kabelování optických vláken by samotná primární ochrana nestačila dostatečně chránit vlákno před mechanickými a klimatickými vlivy. Proto se zpravidla vytváří další, tzv. sekundární, ochrana vláken. Rozlišujeme dva druhy sekundární ochrany - těsnou a volnou. Těsná sekundární ochrana spočívá v nanesení další polymerní vrstvy bezprostředně na primární ochranu tak, že celkový průměr vlákna se zvýší na 0,9 až 1,1 mm. Volná sekundární ochrana spočívá v tom, že vlákno v primární ochraně je volně uloženo v určitém chráněném prostoru uvnitř struktury

kabelů. Důležitým parametrem, který se při analýze optických vláken používá a který v sobě zahrnuje základní parametry struktury vlákna, je tzv. *normovaná frekvence* V . Normovanou frekvencí lze vyjádřit vztahem

$$V = \frac{2\pi \cdot NA \cdot a}{\lambda}, \quad (1.1)$$

kde NA , je numerická apertura vlákna, a je poloměr vlákna a λ je vlnová délka, na které zařízení precuje.

$$NA = \sin \Theta = \sqrt{n_1^2 \cdot n_2^2}, \quad (1.2)$$

kde n_1 a n_2 jsou indexy lomu optického vlákna.

Pomocí normované frekvence lze vyjádřit i počet vidů N , šířících se určitým vláknem pomocí vztahu

$$N = 0,5 \cdot V^2. \quad (1.3)$$

Vztah platí poměrně přesně pouze pro větší počty vedených vidů. Pokud N je podstatně větší než 1, hovoříme o mnoha vidových vláknech.

2 PŘENOSOVÉ PARAMETRY OPTICKÝCH VLÁKEN

Přenosové parametry jednovidových vláken jsou podstatně určeny jejich profilem indexu lomu. Jejich třídění podle tohoto profilu by však bylo příliš obtížné. Jednovidová vlákna mohou být tříděna podle citlivosti útlumu na ohybu, podle průběhu disperzní charakteristiky nebo podle průměru vidového pole. Co se týče útlumu jednovidových optických vláken, typická hodnota koeficientu útlumu kvalitního konvenčního vlákna se pohybuje kolem 0,35dB na kilometr délky vlákna při vlnové délce 1310 nm a pro vlnovou délku 1550 je to útlum kolem 0,2dB/km což je absolutní minimum. V oblasti měření parametrů jednovidových optických vláken a kabelů se objevuje celá řada důležitých aspektů. Většinou jsou tato měření náročnější a složitější než v případě mnohavidových vláken. Je to způsobeno především menšími příčnými rozměry jednovidových vláken a často menšími výkonovými úrovněmi detekovaných optických signálů. Na druhou stranu lze u jednovidových vláken často dosáhnout lepší přesnosti a reprodukovatelnosti měření, protože výsledek měření není zpravidla závislý na podmínkách buzení. Mezi základní parametry, které měříme u jednovidových vláken patří profil indexu lomu, geometrické rozměry, útlum a chromatická disperze. Do další skupiny lze potom zařadit průměr vidové stopy, mezní vlnovou délku a polarizační vlastnosti (dvojlom, polarizační disperze).

2.1 Měření útlumu

Pro měření útlumu jednovidových optických vláken známe tři používané metody:

- **metoda dvou délek (cut - back)**
- **metoda vložených ztrát (insertion loss)**
- **zpětného rozptylu (back scattering method)**

Optická vlákna představují z hlediska optického záření ztrátová a disperzní prostředí. Měřítkem celkových ztrát vlákna je jeho útlum, který je nejčastěji udáván v decibelech (dB), který je pro danou vlnovou délku záření definován vztahem

$$u(\lambda) = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}, \quad (2.1)$$

kde P_1 je optický výkon na začátku vlákna, P_2 je optický výkon na konci vlákna. V praxi se velmi často používá i koeficient útlumu, což je útlum vztažený na jednotkovou délku vlákna podle vztahu

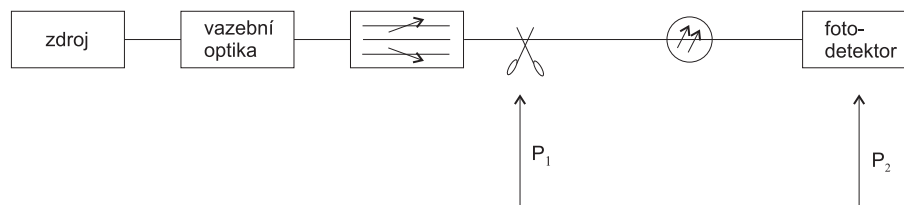
$$\alpha(\lambda) = \frac{u(\lambda)}{l}, \quad (2.2)$$

kde l je délka vlákna.

Koeficient útlumu představuje základní a nejdůležitější přenosový parametr každého optického vlákna i každé optické trasy. Hodnota útlumu je v první řadě měřítkem kvality vlákna, ale současně umožňuje si vytvořit např. představu o maximálním dosahu uvažovaného optického spoje. Na útlumu optických vláken se podílí celá řada ztrátových mechanismů, jako např. materiálové ztráty, které jsou způsobeny absorpcí záření v optickém vlákne a jeho rozptylem na nehomogenitách materiálů skla. Dále pak jsou to radiační ztráty. K radiačním ztrátám může docházet i v důsledku tzv. makroohybů, které mohou vznikat např. při pokládce optických kabelů v ostrých rozích místností apod..

2.1.1 Metoda dvou délek

Nejpřesnější metodou měření útlumu optických vláken je metoda dvou délek. Tato metoda je doporučovaná jako referenční, a to i přesto, že je metodou destruktivní. Postup měření je zřejmý na obr. 2.1. Po navázání optického záření do měřeného vlákna o délce se změří výkon P_2 na jeho výstupu. Při zachování podmínek vazby se poté vlákno ve vzdálenosti $2\text{ m} \pm 0,2\text{ m}$ od počátku kolmo vůči ose vlákna zalomí a na jeho výstupu se po úpravě konce změří výkon P_1 . Útlum se pak vypočítá na základě vztahu 2.1.

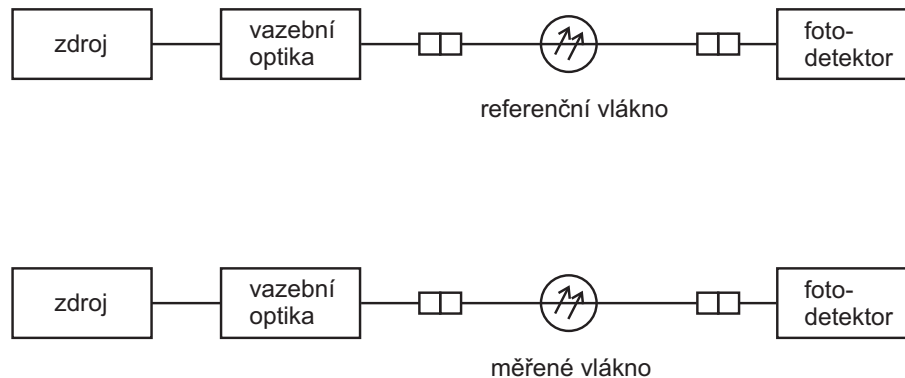


Obr. 2.1: Postup měření útlumu metodou dvou délek

2.1.2 Metoda vložených ztrát

Měření útlumu metodou vložených ztrát je rovněž dvoustupňové, na rozdíl od metody dvou délek však není destruktivní. Postup měření na obr. 2.2. Měřicí souprava se nejprve kalibruje přímým propojením zdroje záření s měřičem optického výkonu pomocí referenčního vlákna o délce 2m. Tímto způsobem získáme hodnotu výkonu P_1 . V dalším kroku se místo referenčního vlákna zapojí vlákno měřené a na jeho výstupu se odečte hodnota výkonu P_2 . Útlum nebo koeficient útlumu měřeného vlákna se potom určí opět na základě vztahu 2.1.

Metoda vložených ztrát je vhodná především pro měření optických vláken a kabelů, spojovacích modulů i jiných optoelektronických součástí v případech, kdy



Obr. 2.2: Měření útlumu metodou vložených ztrát

nelze lámat a zakracovat vlákno. Její nedestruktivnost je však oproti metodě dvou délek vykoupena menší přesností a reprodukovatelností měření. Při použití této metody totiž mlčky předpokládáme, že vazební ztráty při připojení referenčního a měřeného vlákna ke zdroji záření jsou naprosto stejná. To však nemusí být, a také není pravda. Rozdíly ve vazebních ztrátách proto musíme alespoň omezit použitím takového referenčního vlákna, které svými parametry co nejlépe napodobuje vlákno měřené.

2.1.3 Metoda zpětného rozptylu

Třetí standardní metodou měření útlumu optických vláken je metoda zpětného rozptylu, někdy též označovaná jako metoda optické reflektometrie v časové oblasti (optical time-domain reflectometry, OTDR). Tato metoda je založena na zcela odlišném principu než obě předchozí metody. Vyhodnocuje se při ní časová závislost zpětně rozptýleného optického výkonu při šíření úzkého optického impulsu měřeným vláknem. V současné době představuje nejdůležitější metodu měření a diagnostiky optických vláken a kabelů jak při výrobě, tak při montáži a provozu. Předpokládejme, že do měřeného vlákna navážeme obdélníkový impuls s výkonem P_0 a šířkou Δt . Část výkonu tohoto impulsu bude v každém bodě podél vlákna vlivem Rayleighova rozptylu zpětně rozptýlena a budou se tedy šířit zpět ke vstupu. Jeho výkon $P_b(z)$ lze popsat vztahem

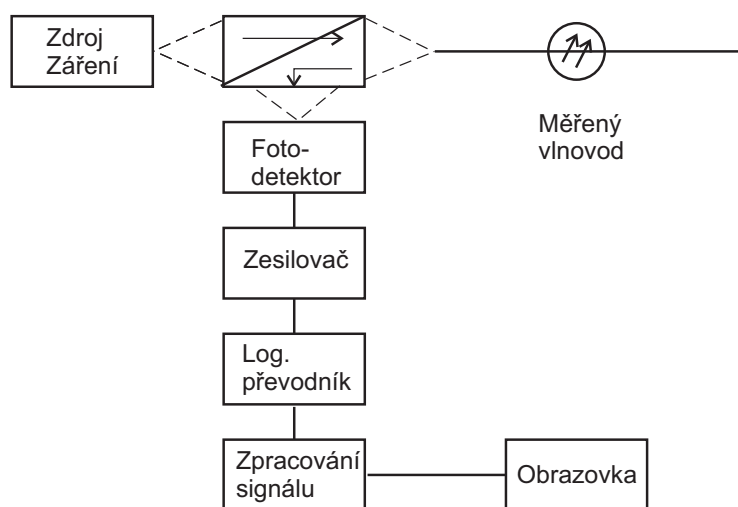
$$P_b(z) = 0,5 \cdot P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \alpha_R \cdot v_g \exp(-2 \cdot \alpha(z)), \quad (2.3)$$

kde v_g je skupinová rychlost šíření, S koeficient zpětného rozptylu, α_R je činitel ztrát Rayleighovým rozptylem a α je střední hodnota koeficientu útlumu vlákna na délce z . S udává, jak velká část rozptýleného výkonu se šíří ve zpětném směru.

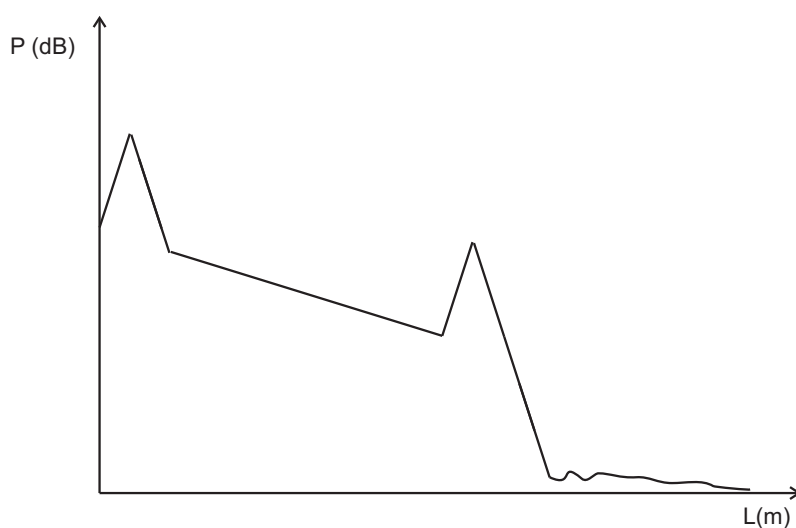
Obvykle nabývá hodnot 0,005. Délková souřadnice z použitá ve vztahu 2.3 je svázána s časem prostřednictvím skupinové rychlosti šíření v_g signálu v podle vztahu

$$t = \frac{2z}{v_g}. \quad (2.4)$$

$P_b(z)$ přitom na základě vztahu 2.3 se vzdáleností exponenciálně klesá. Proto je výhodné průběh $P_b(z)$ vynést v logaritmickém měřítku obr. 2.4. Zdrojem záření nejčastěji bývá polovodičový laser generující úzké optické impulzy s šířkou impulzu několik desítek až stovek nanosekund opakujících se v řádu kHz. Blokové schéma pro měřicí metodu zpětného rozptylu obr. 2.3.



Obr. 2.3: Blokové schéma metody zpětného rozptylu



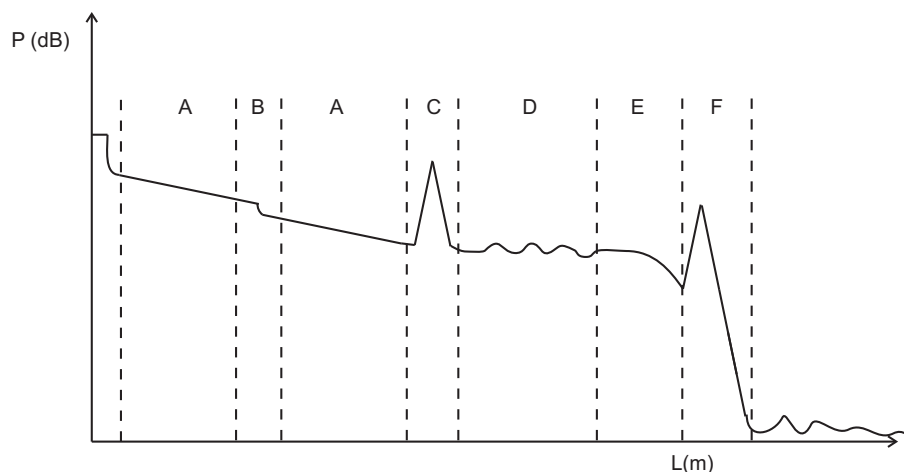
Obr. 2.4: Ideální průběh křivky zpětného rozptylu pro podélně homogenní vlákno

Dva nejčastější problémy, se kterými se při měření metodou zpětného rozptylu můžeme setkat. Při navazování optických impulsů do měřeného vlákna dochází současně k jejich Fresnelovu odrazu na vstupním čele vlákna. Proto je nutné počáteční Fresnelův odraz odstranit nebo alespoň omezit. To je možné použitím např. elektronickým hradlováním fotodetektoru. V laboratorních podmínkách lze tento odraz účinně omezit umístěním konce vlákna do kyvety s imersní kapalinou.

Druhý problém, velmi důležitý, spočívá v rozporu mezi dynamickým rozsahem a délkou rozlišovací schopnosti měření. Ze vztahu 2.3 je však patrné, že výkon P_0 detekovaný v čase t je přímo úměrný energii impulsu rozptýleného v úseku vlákna o délce $z = t/2$. Šířka optického impulsu ovlivňuje délkovou rozlišovací schopnost měření. Pro uvedené hodnoty $t = 10$ ns a 100 ns bude délka rozlišovací schopnosti měření přibližně 1 a 10 m.

Skutečný průběh bývá různým způsobem deformován konektory, spojky, atd. a jednak fluktuacemi vlnové struktury (NA, průměr jádra, profil n).

Na obr. 2.5 je vidět že, v úseku „B“ je nárůst útlumu např. svařovanou spojkou, v úseku „C“ je ostré maximum v důsledku Fresnelova odrazu na konektorové spojnici nebo na defektu ve vlákne např. na lomu. Úsek „D“ je zvlněn, což je způsobeno buď měřicím přístrojem nebo fluktuacemi vlnovodné struktury. Sklon křivky se může v průběhu vlákna měnit-úsek „E“. Místo „F“ Fresnelův odraz od konce celé měřené trasy. Za tímto odrazem můžeme pozorovat už jen šum.



Obr. 2.5: Příklad reálné křivky zpětného rozptylu pro podélně homogenní vlákno

2.2 Měření disperze

Po útlumu je disperze asi nejdůležitější vlastností optických vláken z hlediska telekomunikací. Optické vlákno je disperzní prostředí, tzn. má různé vlastnosti pro různé

vlnové délky a vidy optického záření [1]. Vyvoláme-li na vstupu vlákna světelný impuls, tento impuls se obecně rozloží do mnoha vidů a každý vid má ještě nenulovou spektrální šířku. Skládá se z několika složek o různé vlnové délce. Různé vidy mají různé rychlosti šíření vláknem, což je tzv. **vidová disperze**, ale i různé spektrální složky téhož vidu se šíří různou rychlostí a tomu se říká **disperze chromatická**.

Vlivem disperze dochází k deformaci tvaru impulsu. Snižuje se jeho amplituda a rozšiřuje se v čase. Tento jev má pro přenos až na výjimečné případy (solitony) negativní důsledky. Způsobuje omezení délky opakovacích úseků. Proto se v telekomunikacích používají jednovidová vlákna na odstranění vidové disperze, která má řádově větší hodnotu než disperze chromatická.

Vlákna renomovaných výrobců mají v současnosti koeficient polarizační vidové disperze typicky $0,1 \text{ ps/km}^{1/2}$ [2], což je hodnota dostatečně malá, aby dovolila přenosy rychlostí 10 Gbit/s na vzdálenost několika set kilometrů.

2.2.1 Chromatická disperze vícevidových optických vláken

Chromatickou disperzi optických vláken charakterizujeme pomocí koeficientů chromatické disperze D , definované vztahem 2.5

$$D = \frac{d\tau_g}{d\lambda}, \quad (2.5)$$

kde τ_g je celkové skupinové zpoždění optického signálu při průchodu uvažovaným vláknem. Toto zpoždění v sobě zahrnuje příspěvek všech vybuzených vidů [1]. Protože každý vid má jiné skupinové zpoždění, mohlo by se na první pohled zdát, že i při měření chromatické disperze bude velmi silně záležet na vstupních podmínkách měření. I přes rozdílná skupinová zpoždění jsou však hodnoty $d\tau_g$ a $d\lambda$ všech vidů, které se šíří dostatečně vysoko nad svým mezním kmitočtem, prakticky stejné. Zanedbáme-li vliv nejvyšších vidů, můžeme v prvním přiblížení předpokládat, že pro ostatní vidy platí vztah 2.6

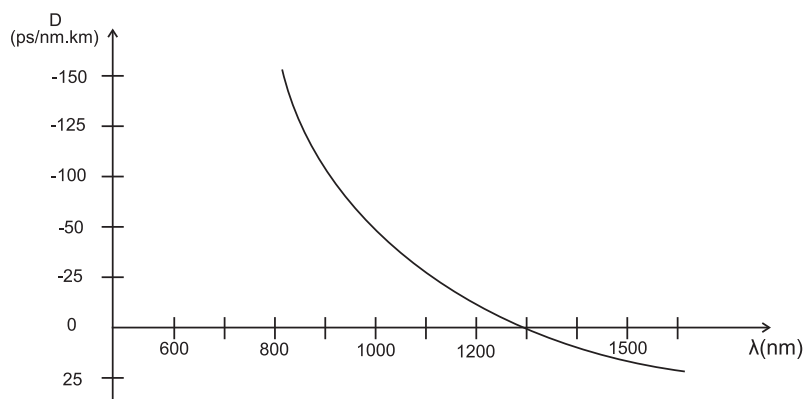
$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda \left(\frac{dn_1}{d\lambda} \right)} \quad (2.6)$$

Pro koeficient chromatické disperze potom dostaneme užitečný přibližný vztah 2.7

$$D = \frac{\lambda}{c \cdot \left(\frac{\sigma^2 n_1}{\sigma \lambda^2} \right)} \quad (2.7)$$

Typický průběh koeficientů chromatické disperze D podle vztahu 2.7 v závislosti na vlnové délce pro vlákno z křemenného skla je znázorněno na obr. 2.6.

Pro určení koeficientů chromatické disperze měřeného vlákna potřebujeme jednoduše řečeno, změřit dobu šíření optického signálu vláknem alespoň pro dvě nepříliš vzdálené hodnoty vlnové délky. Závislost doby šíření signálu na vlnové délce

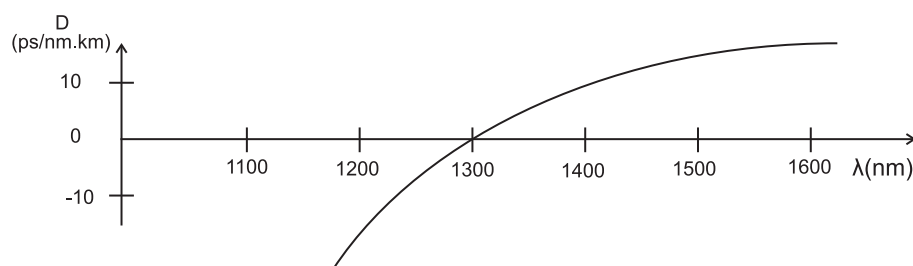


Obr. 2.6: Závislost koeficientů chromatické disperze D na vlnové délce záření pro vlákno z křemenného skla

lze při tom měřit podobně jako celkovou nebo vidovou disperzi buď v časové nebo frekvenční oblasti. Z toho také vychází dvě základní metody měření chromatické disperze. Metoda diferenciálního zpoždění impulsů a metoda fázového posunu.

2.2.2 Chromatická disperze jednovidových optických vláken

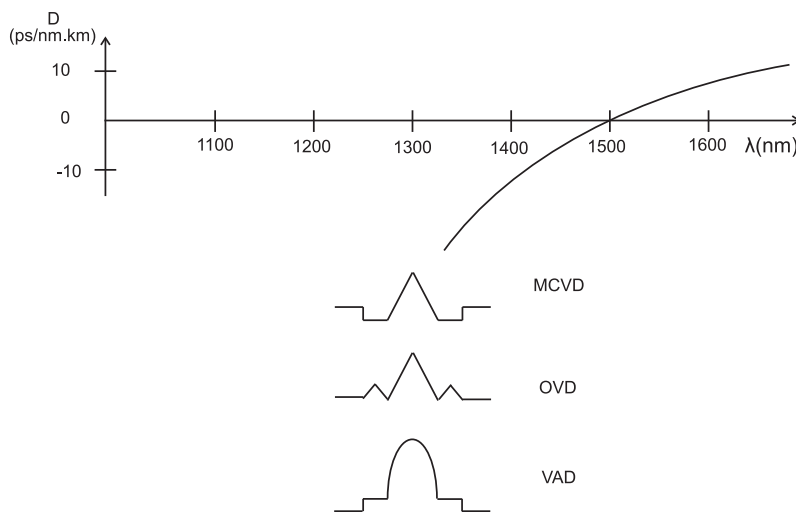
Vzhledem k absenci vidové disperze se v jednovidových optických vláknech stává dominantní disperze chromatická, která tak v hlavní míře určuje dynamické vlastnosti vláken [1]. Proto pro výrobce ani uživatele jednovidových optických vláken a kabelů zpravidla nestačí pouhá znalost koeficientu chromatické disperze $D\lambda$ na jedné vlnové délce zařízení. Všimněme si, že koeficient chromatické disperze nabývá nulové hodnoty v oblasti vlnové délky 1300 nm obr. 2.7



Obr. 2.7: Průběh koeficientů chromatické disperze pro křemenná jednovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu

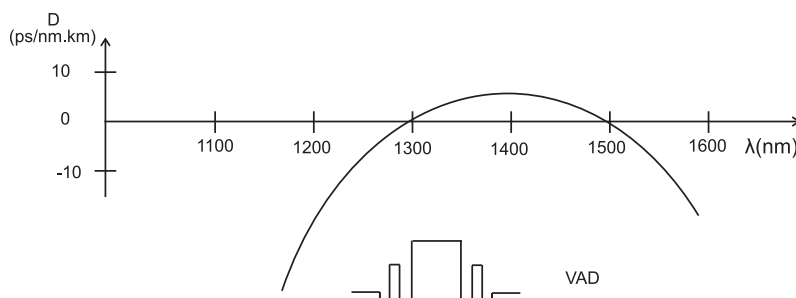
V této oblasti proto vykazují konvenční jednovidová vlákna maximální přenosovou šířku pásma. Jejich útlum se přitom pohybuje kolem 0,35 dB/km. Na vlnové délce 1550 nm, kde je útlum menší (0,2 dB/km), již může být chromatická disperze

limitujícím faktorem pro maximální vzdálenost mezi opakovači [1, 2]. Proto byla vyvinuta tzv. vlákna s posunutou disperzní charakteristikou (dispersion shifted fibers) obr. 2.8



Obr. 2.8: Průběh koeficientů chromatické disperze a profil indexu lomu jednovlákenných vláken s posunutou disperzní charakteristikou

Pro vlákna s posunutou disperzní charakteristikou jsou nejtýpější trojúhelníkové profily indexů lomu obr.2.8. Vytváření ještě složitějších profilů indexů lomu, zpravidla více vrstevných, lze dosáhnout takového průběhu vlnododové disperze, že výsledný koeficient chromatické disperze nabývá hodnoty blízké nule v celé spektrální oblasti 1300 - 1550 nm obr. 2.9.



Obr. 2.9: Průběh koeficientů chromatické disperze a profil indexu lomu jednovlákenných vláken s plochou disperzní charakteristikou

Metody měření chromatické disperze můžeme rozdělit do dvou skupin pro měření na dlouhých a krátkých vláknech. Pro dlouhá vlákna jsou to metody fázového posunu a diferenciálního zpoždění impulsů. Mezi metody měření chromatické disperze na krátkých vzorcích vláken patří především interferometrické metody, které nejčastěji využívají různých variant Michelsonova nebo Mach - Zehnderova interferometru.

Jsou založeny na použití zdrojů záření s relativně velikou spektrální pološířkou, a tedy malou dobou koherence. Z teorie optických vláken vyplývá, že chromatická disperze je přibližně dána prostým součtem příspěvku materiálové disperze a vlnovodové disperze. Chyby, které se tímto zjednodušením dopouštíme, představuje při měření koeficientů chromatické disperze konvenčních jednovidových vláken asi $\pm 2ps/km \cdot nm$ a při měření vlnové délky nulové chromatické disperze asi $\pm 40nm$.

3 OPTICKÝ KONEKTOR A JEHO PŘENOSOVÉ PARAMETRY

Optické konektory řadíme mezi pasivní prvky optických tras, neboť u nich nedochází k zesílení nebo regeneraci optického signálu, ale pouze k jeho zeslabení [4]. Mezi pasivní optické prvky dále řadíme elementy jak pro montáž kabelové sítě (např. spojovací moduly, vláknové děliče), tak i součástky pro ovládání optického signálu (např. optické atenuátory, filtry, vlnové de-multiplexy). Takovéto pasivní součástky mohou být mnoha různých typů s rozmanitým uspořádáním optických vstupů, ale bezesporu nejpoužívanějším pasivním prvkem optických tras je optický konektor. Požadavky na spojení optickými konektory jsou značně vysoké a rostou s klesajícím průměrem jádra vlákna. Aby na spojení nedocházelo ke ztrátám energie, měla by spojovaná vlákna ležet v jedné společné ose, a to v těsném kontaktu obou vstupních stýkajících se plošek, jejichž povrch musí být opticky upraven. Základní požadavky na optické konektory jsou nízké ztráty, snadná manipulovatelnost a opakovatelnost spojení bez podstatného snížení vazební účinnosti.

Každý optický pasivní prvek, tedy i optický konektor, je kalibrován na jistý typ optického vlákna a danou vlnovou délku a je charakterizován dvěma přenosovými parametry

- vložitelným útlumem (insertion loss)
- útlum odrazem (return loss)

Vložitelný útlum optického konektoru je mírou ztrát optického výkonu způsobený zapojením prvku do optické trasy. Vyjadřuje se v decibelech a je definován pro danou vlnovou délku záření λ vztahem 3.1

$$IL(\lambda) = 10 \log \frac{P_2}{P_1}, \quad (3.1)$$

kde P_2 je optický výkon na vstupu součástky a P_1 je optický výkon signálu na výstupu součástky. Příčiny těchto ztrát přitom mohou spočívat v nedokonalosti jednotlivých mechanických dílů konektoru nebo v nedokonalém opracování (broušení a leštění) konců konektorovaných vláken. Vede to k tzv. vnějším ztrátám, mezi něž patří zejména příčný posuv jader vláken, podélné oddálení nebo úhlová odchylka čelních ploch vláken, či jejich špatná kvalita. Kromě toho mohou k útlumu konektoru značnou měrou přispívat i toleranční nepřesnosti samotného optického vlákna (excentricita jádro - plášť, fluktuace průměru nebo numerické apertury, nekruhovost jádra, apod.), které vedou k tzv. vnitřním ztrátám [4].

Tyto toleranční nepřesnosti nelze úplně kompenzovat konstrukcí konektoru, ale lze je odstranit zlepšením kvality použitých vláken. Při měření útlumu je velice obtížné separovat jednotlivé příčiny ztrát. Útlum optického konektoru je ve své podstatě náhodnou veličinou. Spojení konektor - konektor závisí vždy na mechanických tolerancích všech tří prvků tvořících toto spojení: na tolerancích obou ferulí a na tolerancích konektorové spojky (adapteru). Proto je nutné provádět měření vložného útlumu konektoru vícekrát a za správnou hodnotu považovat střední statistickou hodnotu z většího počtu měření s jistou směrodatnou odchylkou, přičemž u kvalitních telekomunikačních optických konektorů je jeho hodnota zpravidla menší než 0,3 dB. Při měření útlumu je třeba pečlivě dodržovat jistá pravidla. Ta spočívají v pečlivém hlídání podmínek buzení u konektorů pro mnohovidová vlákna a ve sledování čistoty a kvality čel všech používaných vláken [4].

Pro přesné a reprodukovatelné měření musí být všechny konektory čisté. To lze snadno ověřit porovnáním průměrů typické prachové částice 10-100 μm a průměru jádra u SM 9 μm . Při zakrytí 5% vzroste vložný útlum o 0,22 dB. Při měření je třeba vyvarovat se pokud možno změn v uspořádání i orientaci optických vláken. Při měření konektorů, které nemají zámek (nejsou zajištěny proti rotaci ve spojce), je třeba provést měření pro různé úhly jejich natočení. Pro správné měření je samozřejmě nezbytná kvalitní a dostatečně stabilní měřicí technika. Druhým důležitým přenosovým parametrem optického konektoru je jeho útlum odrazu. Při dopadu optického záření na rozhraní dvou dielektrik s různým indexem lomu nastává kromě transmise záření přes rozhraní také odraz na tomto rozhraní. Odrazy degradují přenášený signál jak na vysílací, tak na přijímací straně. Útlum odrazu je spektrálně málo závislý a obvykle stačí měření na jedné vlnové délce, například na 1310 nm [4]. Útlum odrazu (return loss) je definován vztahem 3.2,

$$IL(\lambda) = -10 \log \frac{P_2}{P_1}, \quad (3.2)$$

kde P_1 je optický výkon na vstupu součástky a P_2 je optický výkon signálu na výstupu součástky. Útlum odrazu udává, o kolik decibelů je zpětně odražený signál slabší, než signál procházející. Čím větší je tedy hodnota útlumu odrazu v decibelech, tím menší odraz optického výkonu na dané součástce nastává. Maximálního útlumu odrazu lze dosáhnout pouze s čistě zalomenými plochami. Pro zvětšení útlumu odrazu můžeme volit čtyři základní postupy: imersní kapalinu, zešíkmení konce vlákna, použití optického kontaktu nebo antireflexní vrstvy.

3.1 Metody pro měření parametrů optických konektorů

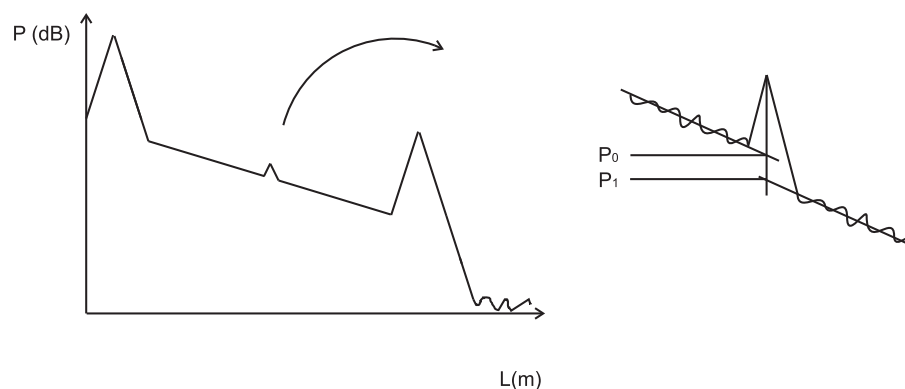
Metody měření přenosových parametrů optického konektoru rozdělujeme do dvou skupin

- TRASMISNÍ

Jsou to metody založené na přímém měření ztrát optického výkonu signálu při jeho průchodu měřenou součástkou a využívají zdroj záření a měřič optického výkonu. Měření probíhá ve dvou krocích, kdy v prvním kroku se měří optický výkon signálu při průchodu optickou trasou bez součástky P_0 (referenční hodnota) a ve druhém kroku se pak měří optický výkon signálu P_1 po zařazení součástky do optické trasy. Vložený útlum se pak vypočítá dle vztahu 2.1. Podle způsobu získávání referenční hodnoty P_0 , rozlišujeme tři varianty, a to metoda dvou délek, metoda vložených ztrát a metoda substituční.

- OTDR - metoda optické reflektometrie

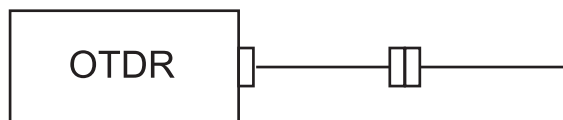
OTDR (optical time-domain reflektometry) je metoda pro měření přenosových parametrů optických tras a lze jí měřit i přenosové parametry jednotlivých prvků trasy [4]. Při této metodě se vyhodnocuje časová závislost zpětně rozptýleného optického výkonu při šíření úzkého optického impulsu měřenou optickou trasou. Výsledkem je křivka zpětného rozptylu v logaritmickém měřítku obr. 3.1, přičemž vložený útlum konektoru se automaticky počítá z 3.1 rozdílů výkonů signálu na vstupu a na výstupu tohoto konektoru a útlum odrazu je dán integrací plochy pod křivkou zpětného rozptylu odpovídající odrazu na příslušném konektoru. Tato metoda je hojně rozšířena v praxi.



Obr. 3.1: Ideální průběh křivky zpětného rozptylu a odraz zařízení na konektoru

3.1.1 Měření přenosových parametrů optického konektoru metodou OTDR

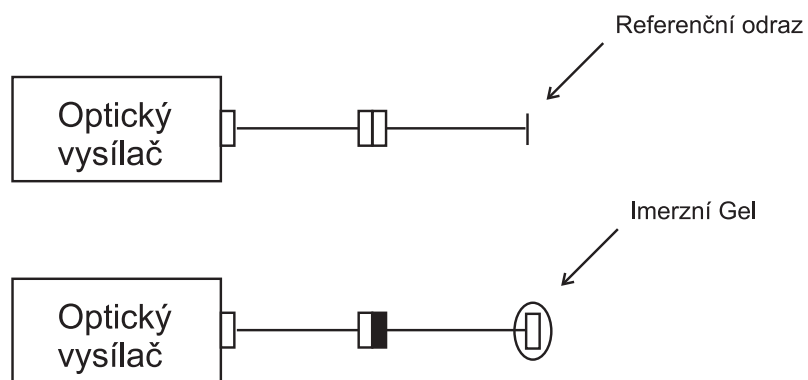
SC/PC jedná se o dosud celosvětově nejrozšířenější typ optického konektoru, který je vyráběn v souladu s normami a specifikacemi JIS, IEC, EIA/TIA a ANSI zajišťující vzájemnou kompatibilitu a výborné optické parametry [4]. Konektory typu SC jsou nabízeny v provedení MM nebo SM s leštěním typu PC a APC.



Obr. 3.2: Blokové schéma měřící soustavy OTDR

3.1.2 Měření přenosových parametrů optického konektoru metodou transmisní

Jelikož se jedná o PC či APC konektory, (konektory tohoto typu jsou navrženy tak, aby při vzájemném propojení dvou konektorů mezi nimi nevznikala vzduchová mezera, která je příčinou zpětného odrazu), musí být na styčné ploše konektoru odstraněny všechny nečistoty. Před každým měřením se provádí důkladné čištění čelních ploch konektoru speciálním čistícím prostředkem a poté se očištěná ferule konektoru kontroluje video mikroskopem [4]. V případě nečistot na ferule, se čištění opakuje. Vlastní měření vložného útlumu (insertion loss) optického konektoru je prováděno pomocí metody vložných ztrát. Měření se provádělo na dvou vlnových délkách a to na vlnové délce 1310 nm a 1550 nm, přičemž veškerá měření se provádějí 3x a skutečná hodnota vložného útlumu byla stanovena průměrem z jednotlivých měření [4]. Pro získání referenční hodnoty P_0 je zapotřebí spojit pomocí hlavního spojovacího modulu optický vysílač s optickým přijímačem a k získání hodnoty výkonu P_1 je poté zapotřebí za hlavní modul připojit měřený konektor a na výstup konektoru optický přijímač. Pro měření zpětného odrazu (return loss) optického konektoru je rovněž zvolena metoda vložných ztrát, (viz kapitola 2) přičemž vlastní měření se opět provádí na dvou vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. K získání referenční hodnoty útlumu odrazu je zapotřebí za hlavní modul zapojit speciální modul s přesně definovaným referenčním odrazem. Poté referenční odraz odpojit a za hlavní modul vložit vlákno s měřeným konektorem.



Obr. 3.3: Schéma optické trasy při měření útlumu odrazu konektoru – Optokon

Zakončení vlákna s měřeným konektorem zůstává nepřipojeno, ale aby se zabránilo odrazu světelného paprsku na jeho volném konci, je tento konec vložen do speciálního imersního gelu, který potlačuje veškeré odrazy.

4 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

Přístupovou síť lze obecně definovat jako soubor všech technických prostředků, které umožňují přístup zákazníkům ke službám poskytovaným provozovatelem sítě [3]. S ohledem na přenosové kapacity a kvalitu okruhů jsou z technického hlediska pro digitální přístupové sítě nejperspektivnějším přenosovým prostředím optické kabely, které mají přenosovou kapacitu v současné době řádově desítek Gbit/s, jejíž využití není limitováno vlastnostmi optického přenosového prostředí, ale typem a přenosovou kapacitou použitých přenosových prostředků.

4.1 Uspořádání optické přístupové sítě

Pronikání optických technologií do přístupových sítí se děje v první fázi přes vyšší úroveň vedoucí k distribučnímu uzlu [2]. S ohledem na topologii existuje několik variant instalace optického vlákna v této sekci:

- aktivní hvězda (jednotlivé optické trasy ukončené v distribučním uzlu)
- kruh (SDH kruhová síť)
- pasivní optická síť (PON)

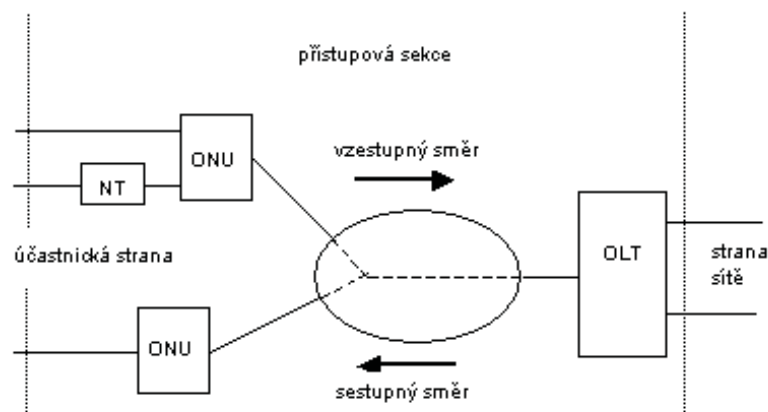
Základními funkčními celky optických přístupových sítí jsou :

- optické linkové zakončení (OLT), zajišťující funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb,
- optická distribuční síť (ODN), což je soubor optických přenosových prostředků mezi OLT a jednotkami ONU,
- optické ukončující jednotky (ONU), zabezpečující funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí. Dále může navazovat síťové zakončení NT.

Uspořádání těchto jednotek v rámci přístupové sítě je vidět na obr. 4.1.

Podle způsobu umístění obr. 4.1 ukončujících jednotek ONU optických přístupových sítí a způsobu jejich provedení [2], tj. podle toho, kde je v síti optické vlákno ukončeno, se rozlišují různé typy optických přístupových sítí OAN, z nichž jako základní jsou obvykle uváděny :

- FTTC (Fibre to the Curb), které přivádějí optická vlákna k účastnickému rozváděči, k němuž jsou koncové body sítě připojeny metalickými kabely,



Obr. 4.1: Uspořádání optické přístupové sítě [2]

- FTTB (Fibre to the Building), které přivádějí optická vlákna až do budov účastníků, kteří jsou připojováni pomocí vnitřních účastnických rozvodů,
- FTTO (Fibre to the Office), u kterých jsou optická vlákna zavedena do prostor důležitých zákazníků s velkými nároky na přenosovou kapacitu,
- FTTH (Fibre to the Home), u kterých jsou optická vlákna zavedena až ke koncovým bodům sítě, tj. až na účastnické zásuvky.

Systémy FTTC a FTTB se prakticky od sebe liší jen provedením skříní pro umístění koncového zařízení účastnického systému. Zařízení systémů FTTC jsou navrhována pro umístění na volném prostranství, což mimo jiné znamená i zvýšené požadavky na klimatickou odolnost. Zařízení obou koncepcí FTTC a FTTB lze v jedné síti kombinovat.

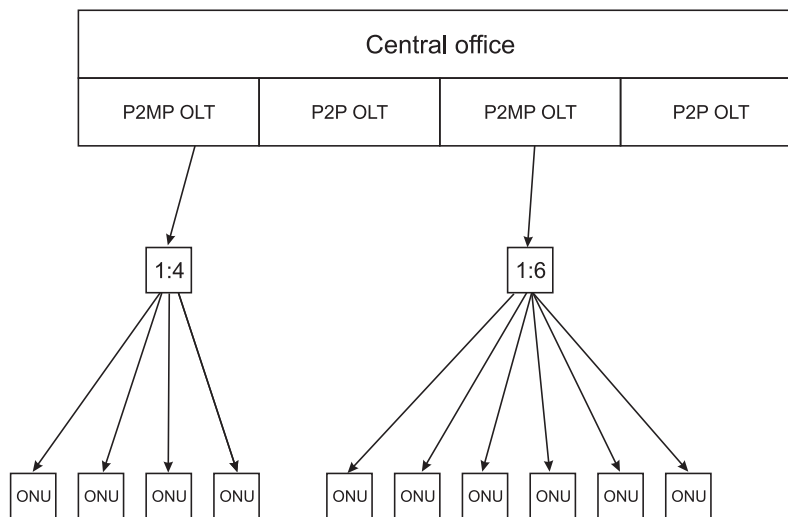
Pasivní optické přístupové sítě

Distribuci signálu k účastníkům zajišťují pasivní rozbočovače (splitter), které ovšem pracují i v opačném směru (slučují signály od účastníků) [2]. Rozbočovač pouze rozdělí optický signál do požadovaného počtu dílčích směrů, neprovádí zesilování ani jiné úpravy. Každá účastnická ukončující jednotka ONU obdrží kompletní multiplexovaný signál od linkového zakončení OLT a vybere z něj pouze jí příslušející kanál. Základní topologie pasivních optických distribučních sítí ODN jsou následující :

- jednostupňová hvězda
- dvoustupňová hvězda

- sběrnice
- kruh

Každá z uvedených topologií má své výhody i nevýhody jak z hlediska investičního, tak i provozního [4]. Uvedené základní topologie lze různě kombinovat, samozřejmě při respektování vlastností optických rozhraní použitých jednotek OLT a ONU.

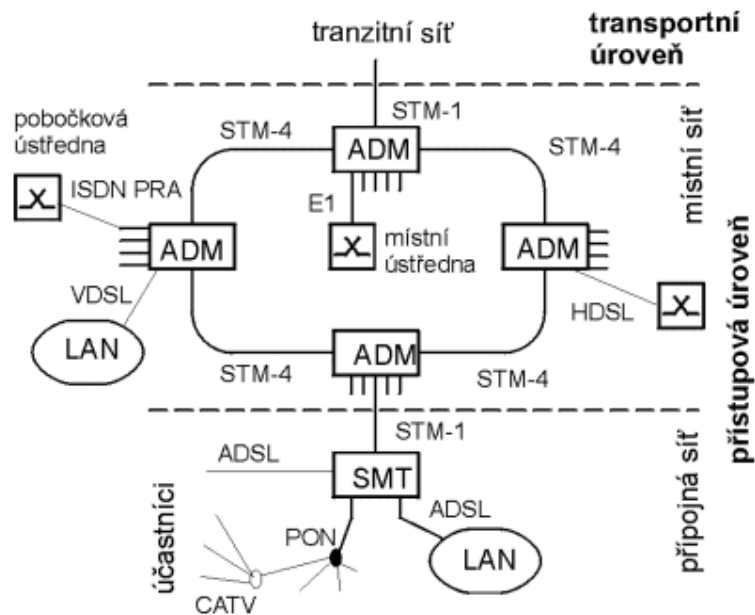


Obr. 4.2: Použití 2 spliteru s agaregací 1:4 a 1:6

4.1.1 Aktivní optické přístupové sítě

Aktivní přístupové sítě tvoří základ tzv. hybridních sítí, jelikož na optickou část sítě ve vyšší úrovni navazuje nižší úroveň tvořená dalšími technologiemi (xDSL, CATV, radiové prostředky). Hlavní výhodou aktivních přístupových sítí AON v porovnání s pasivními sítěmi PON je možnost zajištění podstatně větších dosahů, tj. překlenutelných vzdáleností mezi OLT a ONU a použití větších dělicích poměrů v distribučních bodech [2]. Nevýhodou je nutnost zajištění napájení aktivních síťových prvků použitých v distribuční síti, tj. rozbočovačů nebo muldexů. Z hlediska minimalizace nákladů na provozní údržbu se proto jeví výhodnější pasivní přístupové sítě PON.

Aktivní optická síť AON obsahuje aktivní síťové prvky v podobě digitálního přenosového zařízení a bývá realizována nejčastěji technologií SDH [2]. Je pak tvořena kruhem STM-1 či STM-4 se synchronními vydělovacími muldexy ADM (add-dropp muldex), jak je ukázáno na obr. 4.3. Na muldexy ADM se napojují účastníci různým způsobem (sekundární úroveň - PON, ISDN, B-ISDN, HDSL, ASDL apod.). Díky tomu se AON označují i jako integrované přístupové systémy, neboť tvoří společnou, zastřešující platformu pro ostatní přístupové systémy.



Obr. 4.3: Aktivní optické přístupové sítě [2]

4.1.2 Specifika přenosu optického signálu v přístupové síti

Transportní funkce přístupových sítí musí poskytovat duplexní přenosové prostředí. Signály pro oba směry přenosu mohou být v přístupových sítích přenášeny:

- simplexně s dělením SDM (Space Division Multiplexing), tj. pro každý směr přenosu je použito jedno vlákno,
- duplexně s dělením WDM (Wavelength Division Multiplexing), kdy jsou signály přenášeny po jednom vláknu, jeden směr v oblasti 1310 nm a druhý v oblasti 1550 nm,
- duplexně s dělením FDM (Frequency Division Multiplexing), kdy jsou signály v obou směrech přenášeny po jednom vláknu v jedné oblasti vlnových délek a směry přenosu jsou odděleny kmitočtově.

Nejčastěji je přenosové médium sdíleno celou řadou účastníků, kdy se může při vytváření linkových signálů přenášných v sestupném směru (downstream) od OLT k jednotlivým jednotkám ONU používat skupinování s časovým dělením TDM nebo s dělením kmitočtovým, označovaným v těchto aplikacích ne FDM, ale SCM (Sub-Carrier Multiplexing). Obdobně ve vzestupném směru (upstream) od jednotlivých jednotek ONU k OLT je přístup buď s časovým dělením TDMA, nebo s kmitočtovým dělením SCMA. Možné jsou i kombinace uvedených způsobů, tj. např. uspořádání TDM/SCMA nebo SCM/TDMA.

Důležitým aspektem, určujícím charakter přístupové sítě, je převažující typ přenosových traktů využívaných v distribuční části sítě [2], [3]:

- bod-bod PTP (Point-to-Point), např. jednotlivé SDH trakty
- mnohabodové PTM (Point-to-Multipoint), např. pasivní optická síť.

Mnohabodová optická distribuční síť ODN umožňuje pomocí pasivních nebo i aktivních rozbočovacích prvků, tzv. splitterů, rozdělit signály přenášené jedním vláknem z optického linkového zakončení OLT ústředny nebo vydělovacího zařízení ADM primární části přístupové sítě do více vzdálených jednotek ONU a sdružovat a transportovat signály i v obráceném směru z ONU do OLT.

Podle provedení optických rozbočovačů a jednotek OLT a ONU mohou být mnohabodové optické přístupové sítě OAN principiálně uspořádány dvěma základními způsoby :

- aktivní přístupová síť AON (Active Optical Network), která s využitím aktivních síťových prvků propojuje ukončující jednotky ONU přes terminál OLT na centra telekomunikačních služeb.
- pasivní přístupová síť PON (Passive Optical Network).

4.2 Detektory pro optické přijímače

Dopadem optického signálu na detektor a jeho přeměnou na elektrický signál končí optická vrstva [2]. K detekci dochází po demultiplexování signálu WDM na jednotlivé elektrické signály. Co se týče detektorů - přijímačů optického záření, mezi WDM a jednokanálovými optickými systémy je pouze ten rozdíl, že signál, vystupující z demultiplexoru WDM, mívá díky plně optickým zesilovačům nižší poměr signál/šum (OSNR - Optical Signal to Noise Ratio).

Používají se obvykle dva typy detektorů: fotodiody PIN a lavinové fotodiody APD (Avalanche PhotoDiode). Vzhledem k tomu, že šířka zakázaného pásu je u křemíku větší než energie fotonu v oblasti třetího přenosového okna, nejsou křemíkové fotodiody použitelné. Užívají se germaniové fotodiody PIN a fotodiody PIN na bázi InGaAs, které jsou výhodnější, protože mají větší tepelnou stabilitu a nižší hodnotu temného proudu. Jejich citlivost je přibližně 1A/W, kvantová účinnost v rozmezí od 0,5 do 0,9 a časová odezva desítky pikosekund, čemuž odpovídá šířka pásma až 60 GHz. Některé detektory tohoto typu jsou zhotovovány ve formě vlnovodných struktur. Rychlejší jsou fotodiody s Schottkyho bariérou s časovými odezvami v oblasti pikosekund, kterým odpovídají šířky pásma přibližně 100 GHz.

4.3 Multiplexory a demultiplexory

Demultiplexory lze v zásadě realizovat třemi způsoby: jako soustavu dielektrických filtrů, vlnovody uspořádanými do mřížky (AWG - Arrayed Waveguide Grating) nebo vláknovou Braggovou mřížkou (FBG - Fibre Bragg Grating).

V uspořádání demultiplexoru jako soustavy dielektrických filtrů dopadá signál WDM na první filtr. Ten propustí první optický kanál na příslušný přijímač, zbylé kanály se odrazí na druhý filtr. Druhým filtrem projde druhý signál na druhý přijímač, ostatní kanály se odrazí na třetí filtr, atd. až poslední optický kanál z původního signálu WDM dopadne na poslední přijímač.

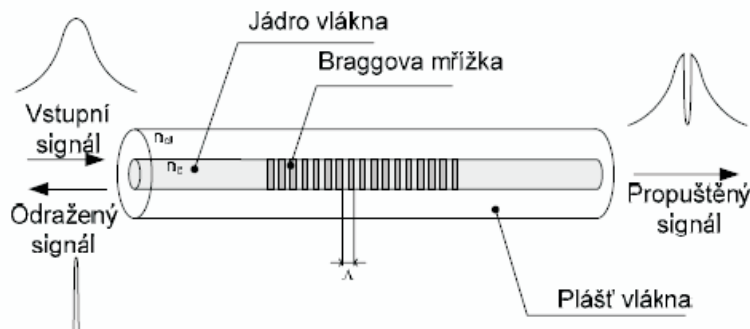
Při uspořádání AWG je na vlákno navařen vlnovod, který se hodně rozšiřuje, a po krátké vzdálenosti pokračuje několika úzkými vlnovody, svými rozměry podobnými původnímu vláknu. Ty vedou paralelně vedle sebe a poněkud zatáčejí, takže vytvářejí přibližně soustředné oblouky a jsou nestejně dlouhé. Posléze se opět spojují do širokého vlnovodu, který po krátké vzdálenosti ústí opět do úzkých vlnovodů. Těchto výstupních větví je stejně jako příspěvkových optických kanálů v signálu WDM [2]. Přesné geometrické parametry a index lomu struktury AWG je přitom spočítán tak, že výkon světla, vstupujícího do prvního širokého místa, se rovnoměrně rozdělí do všech úzkých větví. Těmi se šíří dále až ke druhému širokému místu. Protože větve jsou různě dlouhé, vstupují části signálu z jednotlivých větví do druhého širokého místa s nestejným fázovým zpožděním, které je také větší pro složky signálu o kratší vlnové délce. Výsledkem je, že ve druhém širokém místě dojde k vzájemné interferenci části signálu, přicházejících z různých větví, a celý signál WDM se rozdělí tak, že veškerá intenzita prvního příspěvkového kanálu se objeví v první výstupní větvi, veškerá intenzita druhého příspěvkového kanálu se objeví v druhé výstupní větvi, atd. až veškerá intenzita posledního příspěvkového kanálu se objeví v poslední výstupní větvi struktury AWG.

Ve třetím případě je základem demultiplexoru Braggova mřížka, vytvořená např. iontovou výměnou nebo molekulární epitaxí ve vlnovodné struktuře, která má být napojena na vlákno [2]. Potom se výkon signálu WDM z vlákna vyzařuje v několika diskrétních směrech, přičemž každý směr odpovídá určitému frekvenčnímu pásmu. Pak už je pouze třeba zajistit, aby detektory jednotlivých příspěvkových kanálů byly situovány tak, aby na ně dopadal signál na té správné nosné frekvenci.

Pro multiplexory je možné proto použít stejných technologií jako pro demultiplexory. Když např. do struktury AWG pustíme jednotlivé optické signály v opačném směru, vyjde nám na výstupu signál WDM. Multiplexory však mohou být i jednodušší, tvořené např. prostou směrovou odbočnicí, která má spektrálně dostatečně plochou charakteristiku.

4.3.1 Vláknové Mřížky

Vláknové mřížky jsou pro své spektrální vlastnosti stále častěji používanými optickými prvky v telekomunikačních systémech a vláknových senzorech [5]. Mřížka je tvořena periodickými změnami indexu lomu jádra vlákna obr. 4.4



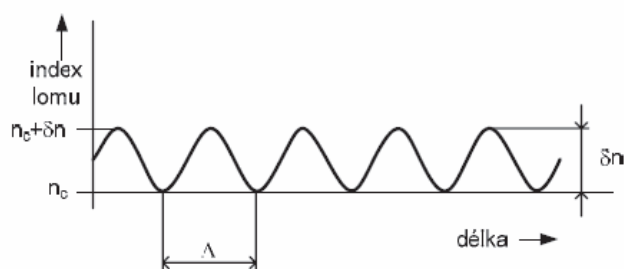
Obr. 4.4: Vláknová mřížka

Vláknová mřížka samotná funguje jako optický filtr. Vstupující optická vlna je odrazena, pokud je její vlnová délka blízká Braggově rezonanční vlnové délce, v opačném případě mřížkou prochází. Rovnice popisující vztah mezi Braggovou rezonanční vlnovou délkou a periodou mřížky je

$$\lambda_{Bragg} = 2n_{eff}\Lambda, \quad (4.1)$$

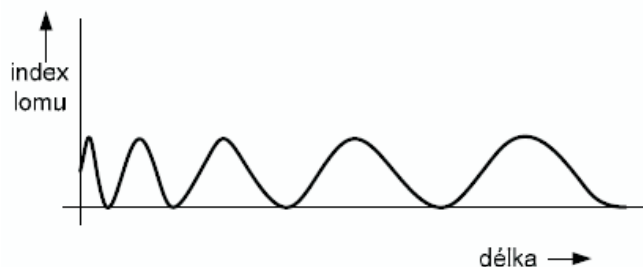
kde λ_{Bragg} je Braggova rezonanční vlnová délka, Λ je perioda mřížky a n_{eff} je efektivní vidový index (reprezentuje hodnotu indexu lomu, po kterém se šíří daný vid. Je dán rozměry a indexy lomu jádra a pláště vlákna). Jak již bylo řečeno, mřížka je ve vlákně tvořena změnou indexu lomu jádra vlákna. Vytvoření této změny indexu lomu je možné dosáhnout osvitom vlákna s fotocitlivým jádrem přes masku. Z technologie výroby vyplývá, že tvar jednotlivých period bude blízký sinusovému průběhu. Své minimum bude mít funkce rovno indexu lomu δ_n jádra, dvojnásobek amplitudy bude představovat změnu indexu lomu δ_n , vyvolanou osvitom mřížky, viz obr. 4.5.

Základním typem mřížky je homogenní vláknová mřížka [5]. To znamená, že v rámci celé mřížky se perioda mřížky Λ a změna indexu lomu δ_n nemění. Pro určité účely (kompenzace chromatické disperze, úzkopásmové filtry, atd.) je však zapotřebí vytvořit pokročilejší typy vláknových mřížek. Pokud např. budeme měnit periodu mřížky, docílíme toho, že každá vlnová délka se bude odrážet v jiném místě mřížky a tím bude vznikat časové zpoždění v šíření jednotlivých složek světla. Toho se využívá při kompenzaci chromatické disperze v telekomunikacích. Mřížka s proměnnou



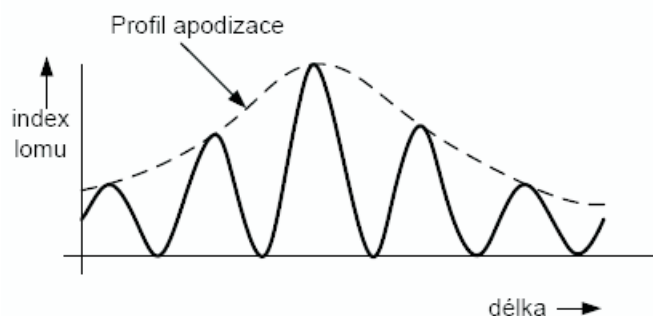
Obr. 4.5: Základní homogenní vláknová mřížka

periodou se potom nazývá chirpovaná mřížka, ilustrativní průběh indexu lomu je znázorněn na obr. 4.6.



Obr. 4.6: Chirpovaná mřížka

Dalším typem mřížky je apodizovaná mřížka [5]. Na rozdíl od chirpované mřížky je zde perioda konstantní, ale mění se změna indexu lomu. Takové mřížky se s výhodou používají jako optické filtry, protože apodizací dochází k výraznému potlačení postranních pásem. Profil apodizace se nejčastěji používá Gaussovský, ale pro různé účely může být i jiný. Ilustrativní průběh indexu lomu apodizované mřížky je na obr. 4.7.



Obr. 4.7: Průběh indexu lomu apodizované mřížky

Apodizací dochází ke změně efektivního vidového indexu uvnitř mřížky. Z rovnice 4.1 je jasné, že pokud chceme λ_{Bragg} udržet konstantní i když se nám mění n_{eff} , musíme tuto změnu kompenzovat buď současnou změnou periody, nebo přímo kompenzovat efektivní vidový index. Takovým postupem vznikají složitější mřížky s apodizací i chirpem, které se používají pro speciální účely [5].

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V teoretické části práce jsem popsal několik základních metod pro měření útlumu optických vláken. Část teorie jsem se rozhodl použít v praxi. Zvolil jsem si jednu metodu, a to metodu vložených ztrát. V této kapitole popisují způsob měření a vypracování dvou laboratorních úloh zmíněnou metodou. První úloha popisuje měření útlumu na optickém vlákně různé délky a druhá měření útlumu jednotlivých fyzických kanálů splitteru s agregací 1:4. Všechna měření budou provedena pomocí přístrojů *EXFO* na obr. 5.1 a obr. 5.2.



Obr. 5.1: Měřicí souprava EXFO



Obr. 5.2: Měřicí souprava EXFO FTB-400

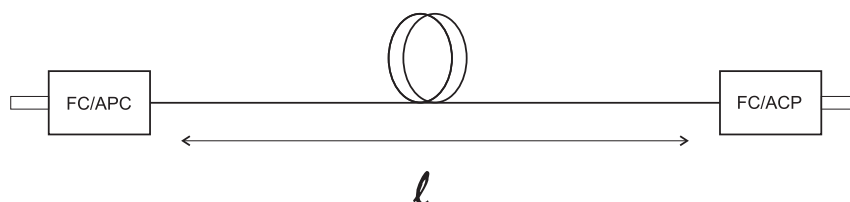
5.1 Měření útlumu optického vlákna

5.1.1 Zadání:

Úkolem této laboratorní úlohy je změřit a vyhodnotit měření optického vlákna různé délky. Případná lokalizace poruchy optického vlákna.

5.1.2 Popis měření:

Pomocí měřicí soupravy **EXFO** (ELS - 100, EPM - 100) změřte optické vlákno různé délky pro dvě vlnové délky a to 1310 nm a 1550 nm. Na obr. 5.3 je naznačené optické vlákno, které se bude měřit. Optické vlákno má označení SFM-28 (OFNR). Optické vlákno je různé délky l a je připojeno konektorem FC/APC. Tento typ konektoru má typický vložený útlum $<0,15$ dB (max $<0,5$ dB) obr. 5.4



Obr. 5.3: Optické vlákno délky l



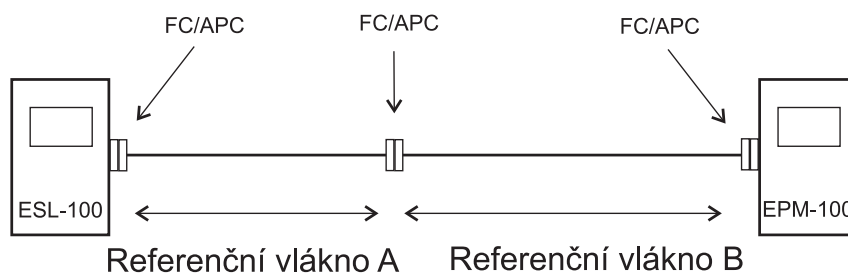
Obr. 5.4: Optický konektor FC/APC

5.1.3 Zpracování úlohy:

Před každým samotným měřením optického vlákna je nutné udělat několik nezbytných kroků k tomu, aby měření nebylo zkreslení např.: útlumem znečištěného konektoru. Hlavní dva úkony jsou :

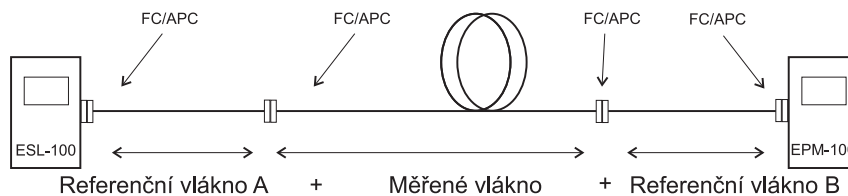
- Očištění vlákna v konektoru
- Kalibrace měřicí soupravy a nastavení offsetu s referenčním vláknem

Očistění konektoru neboli čela optického vlákna se provádí následovně. Z optického vlákna se odstraní primární a sekundární ochrana speciálním nástrojem „seřezávačky“. Poté se vlákno kolmo k ose vlákna zalomí pomocí nástroje „Zalamovačka“. A nyní se použije speciální ubrousek napuštěn čistidlem. Tím se vlákno dostatečně očistí. Po té se vlákno vloží do konektoru. Před připojením konektoru do měřicího přístroje se musí vlákno vždy očistit. Nastavení *offsetu* se provádí dle manuálu měřících přístrojů. Na obr. 5.5 je schéma zapojení měřících přístrojů s referenčním vláknem pro správné skalibrování přístroje. Kalibrace přístroje exfo EPM-100 se provádí pro vlnové délky na, kterých se bude provádět měření vlákna.



Obr. 5.5: Schéma zapojení pro nastavení offsetu

To znamená, že přístroj (EPM-100 Power Meter) změří útlum referenčního vlákna včetně konektorů a tuto hodnotu odpočítává od pozdějšího měření, neboli nastaví správný *offset*. U přístroje EPM-100 Power Meter se to provádí dlouhým podržením tlačítka „REF“, cca 10 sec.. Pozor: Nastavení se musí provádět pro všechny λ !. Vlastní měření se provádí podle obr. 5.6, kde je měřící souprava již kalibrovaná a připojí se i s referenčním vláknem k měřenému vlákně.



Obr. 5.6: Schéma zapojení pro měření optického vlákna

5.1.4 Naměřené hodnoty:

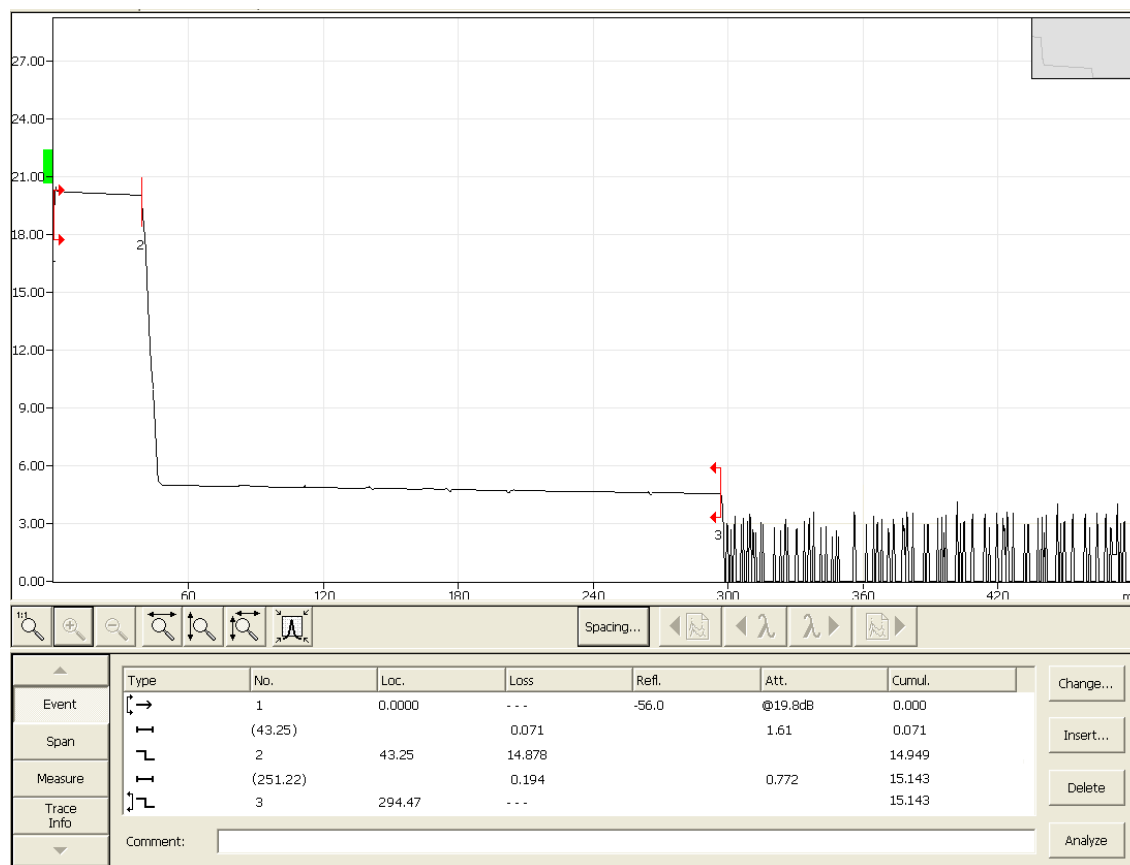
Zde v tab. 5.1 jsou uvedené naměřené hodnoty na laboratorním vlákně. Tabulka popisuje osm měření. Čtyři pro vlnovou délku 1310 nm a čtyři pro vlnovou délku 1550 nm.

Pro vzdálenost vlákna 300m jsem změřil metodou vložených velký útlum. Tento útlum je způsobem záměrně jelikož se jedná o laboratorní vlákno. Proto aby jsem

Tab. 5.1: Naměřené hodnoty optického vlákna 1310 a 1550 nm.

Naměřený útlum v [dB]				
	Délka vlákna [m]			
λ [nm]	300	600	900	1200
1310	16,73	0,86	0,77	1,71
1550	15,54	0,71	0,51	1,24

mohl blíže určit místo vadného „sváru“, použil jsem přístroj exfo FTB-400, který pracuje na metodě zpětného rozptylu. Měření jsem provedl na vlnové délce 1550 nm. Zde na obr. 5.7 je vidět lokalizace špatného „sváru“ a nachází se ve vzdálenosti 43,25m od začátku vlákna. Metodou vložený ztrát by nebylo možné lokalizovat místo závady.



Obr. 5.7: Metoda OTDR na vlákně dlouhém 300m

V tabulce na obr. 5.7 si můžeme přečíst jednotlivé parametry. Fyzicky naměřené hodnoty jsem zpracovával na softwarové verzi programu OTDR. Změřený útlum vlákna je 15,143dB. To znamená, že naměřený útlum metodou OTDR je nižší než

metodou vložených ztrát. Toto je způsobeno tím, že na obr. 5.6 se do zapojení vkládá další konektor FC/ACP. Proto výsledný útlum spočítáme ze vztahu

$$A_f(\lambda) = A_m - A_c, \quad (5.1)$$

kde A_m je změřený přístrojem, A_m je útlum konektorů. V našem případě, kdy budeme brát maximální hodnotu útlumu konektoru FC/APC dle výrobce je to 0,5dB pak, výsledný útlum pro vlnovou délku 1550 nm je tedy

$$A_f(1550) = 15,54 - 0,5 = 15,04dB. \quad (5.2)$$

Fotka z praktického měření:



Obr. 5.8: Praktické měření úlohy jedna směřicí soustavou Exfo

5.1.5 Závěr:

V této úloze jsem si změřil metodou vozených ztrát útlum optického vlákna různé délky. A metodou zpětného rozptylu lokalizoval místo závady. Z tab. 5.1 je vidět, že vlákno s délkou 300m má příliš vysoký útlum. Příčina zvýšeného útlumu je známá jelikož se jedná o laboratorní optické vlákno. Je způsobena špatným „svárem“ dvou vláken. Toto vlákno by naprosto nevyhovovalo pro běžné použití v praxi. Detekování místa zvýšeného útlumu jsem mohl zjistit sofistikovanější metodou OTDR. Tato metoda poskytuje daleko širší spektrum informací o vlákně než metoda vložených ztrát. Další vlákna mají „přijatelnější“ hodnotu útlumu, ale víme, že útlum samotného vlákna se v dnešní době pohybuje okolo 0,3 dB/km. A tím se dostávám

k otázce útlumu konektoru a správnému nastavení offsetu. Pozor pokud měříme záporný utlum byl špatně nastaven offset, pasivní prvek nám nemůže zesilovat!. Pro přesnější určení útlumu zmíněnou metodou by jsem měli dodržovat zásady pro opakování měření. Používání konektorů, které nám zabraňují otáčení se vláken vůči sobě ve směru kolmém k ose vlákna. Díky těmto konektorům můžeme zajistit to, že optický signál se nám bude do dalšího vlákna navazovat vždy téměř totožně. Optické vlákno by jsme měli pro větší přesnost výsledků měřit vícekrát, a to z obou směrů a z výsledků udělat průměr.

5.2 Měření útlumu na optickém děliči - splitteru s agregací 1:4

5.2.1 Zadání:

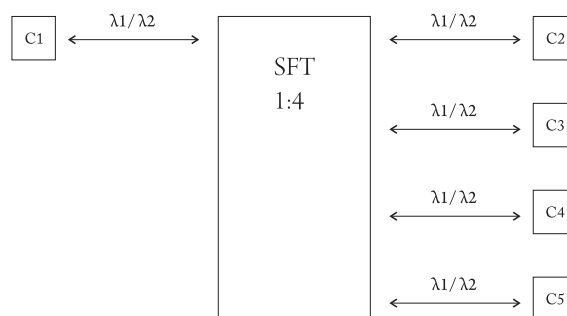
Úkolem této laboratorní úlohy je vypočítat útlum jednotlivých fyzických kanálů na zařízení SFT-SWB typu „SFT-S35-01X04-25“ obr. 5.9 a zhodnocení rozložení přenášeného výkonu jednotlivých kanálů. Z naměřeného výstupního výkonu a výkon optického vysilače ELS-100 spočítáme útlum. Dále zjistíte hodnoty útlumu, které uvádí samotný výrobce zařízení a porovnejte v závěru.



Obr. 5.9: Zařízení SFT-SWB

5.2.2 Popis měření:

Metodou vložených ztrát změřte optický výkon na jednotlivých fyzických kanálech. Přístroj ELS - 100 (Zdroj optického záření) připojte přes konektor C1 a postupně od konektoru C2 až C5 změřte výstupní výkon každého kanálu.



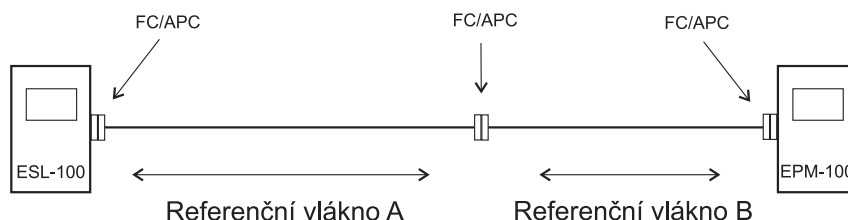
Obr. 5.10: Vlnový multiplex s agregací 1:4

5.2.3 Zpracování úlohy:

Před měřením musíme dodržovat tyto dvě základní pravidla:

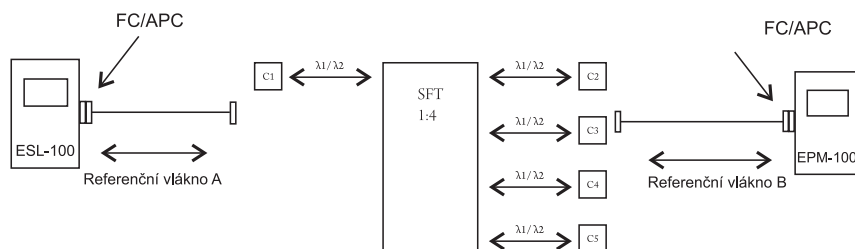
- Kalibrace měřicí soupravy a nastavení offsetu na referenčním vláknu
- Očištění vlákna v konektoru

Je potřeba správné nastavení *offsetu*. Zde se pro správné nastavení offsetu používají dvě referenční vlákna viz. obr. 5.11 z toho důvodu, že měřený prvek SFT-SWB se bude vkládat mezi tyto dvě referenční vlákna. Taktéž nesmíme zapomínat na správně očištění optických vláken v konektoru.



Obr. 5.11: Schéma zapojení pro nastavení offsetu

Pokud máme vše připravené můžeme začít měřit dle obr. 5.12. Měřicí přístroj EMS-100 nám umožňuje měřit i samotný výkon. Důležitá věc je změřit si výkon vysílače na referenčních vláknech bez útlumu jen po kalibraci. Tato hodnota bude výchozí pro pozdější výpočet útlumu. Naměřené hodnoty výstupního výkonu zapisujeme do tabulky. Dále Přepočítáme dle vzorce 3.1, na daný útlum. Já jsem si zjistil hodnoty útlumu, které uvádí výrobce. Tato hodnota je totožná pro každý kanál a jeho maximum činí 7,2 dB při běžných podmínkách.



Obr. 5.12: Schéma zapojení pro vlastní měření

5.2.4 Naměřené hodnoty:

Zde v tab. 5.2 jsou uvedené naměřené hodnoty výstupního výkonu jednotlivých kanálů na vlnovém děliči. Naměřený výkon vysílače bez vloženého útlumu na referenčním zapojení je **3 mW**. Tato hodnota udává vstupní výkon.

Tab. 5.2: Změřený výstupní výkon na jednotlivých kanálech pro λ 1310 a 1550 nm.

Naměřený výkon v [μW]				
	Kanál [Cx]			
λ [nm]	C2	C3	C4	C5
1310	658,6	663,8	644,1	659,1
1550	648,2	660,2	635,8	659,8

Výpočet útlumu dle vzorce 3.1 zapisujeme do tab. 5.3. Hodnoty udávané do rovnice musí být ve stejných jednotkách (W, mW, μW). Pokud by byl použit jiný vstupní výkon musíme útlum znova přepočítat

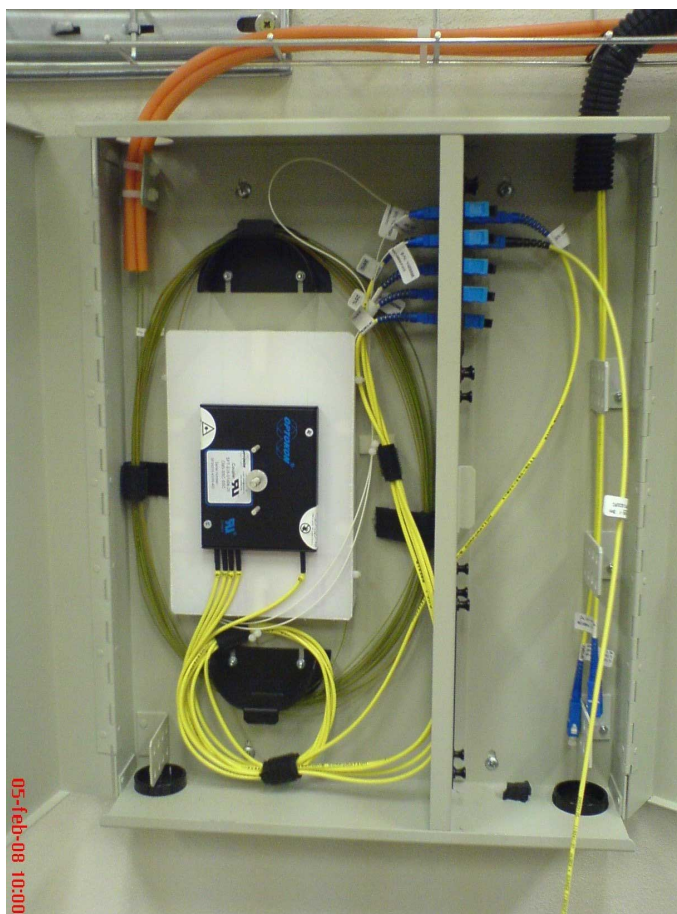
Příklad výpočtu

$$IL(1310) = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{3000 \mu W}{658,6 \mu W} = 6,584 dB \quad (5.3)$$

Tab. 5.3: Spočítaný útlum optického děliče pro λ 1310 a 1550 nm.

útlum v [dB]				
	Kanál [Cx]			
λ [nm]	C2	C3	C4	C5
1310	6,584	6,551	6,682	6,582
1550	6,654	6,574	6,738	6,577

Fotka z praktického měření



Obr. 5.13: Zařízení SFT-S35-01X04-25

5.2.5 Závěr:

Úkolem v této úloze bylo změřit vlnový dělič a vypočítat útlum jednotlivých kanálů. Z naměřených výsledků je patrné, že útlum je ve všech kanálech okolo 6,5 dB a tím nám vzniká rozdíl -0,7dB od maximálních hodnot, které uvádí výrobce. Naměřený útlum je naprosto vyhovující a žádný z kanálů nepřekračuje útlum 7,2dB. Pozn. větší poměr agregace znamená vyšší průchozí útlum. Z vypočteného útlumu je patrné že i výkon v jednotlivých kanálech je rozložen téměř rovnoměrně, což samozřejmě vychází z útlumu. Opět musíme dodržovat pravidla pro opakovatelnost měření. Pro tuto úlohu je metoda vložených ztrát naprosto dostačující.

6 ZÁVĚR

A nyní k závěru. Práce se skládá ze šesti kapitol. V úvodu práce jsem se snažil nastínit a popsat základní fyzické vlastnosti vláken, potřebné vlastnosti vláken k tomu, aby bylo možné vláknem šířit optické záření. Intenzita optického záření při průchodu vláknem klesá, říkáme že vlákno má daný útlum optického signálu. Toto je jedna z hlavních a nejdůležitějších vlastností optického vlákna. V následné kapitole jsou popsány metody, pro měření a zjištění útlumu na optickém vlákně. Ať už jejich výhody, nebo nevýhody. V této bakalářské práci popisuji tři metody pro měření útlumu a to metoda dvou délek, metoda vložených ztrát a metoda zpětného rozptylu. V praktické části práce jsou použité dvě z výše popsaných metod. Chromatická disperze je další důležitá vlastnost optického vlákna. Chromatickou disperzi ve své práci popisuji pouze teoreticky, jelikož se jedná o velmi rozsáhlé téma nebyla v praktické části zahrnuta.

Co se týče optický konektorů a spojek, je popsána metoda měření útlumu. U těchto pasivních prvků je útlum asi jediná podstatná věc, která nás zajímá z hlediska praktického. Proto není problém si najít hodnotu útlumu v katalogovém listu.

Cílem práce je také navrhnout praktické cvičení měření přenosových parametru optických vláken a prvků a s tím spojená optická trasa. Pro navrženou trasu použít různé metody měření a následně jejich porovnání, kritické zhodnocení a zvolení optimální metody měření pro danou problematiku.

Nyní se dostáváme do praktické části práce. Pro praktickou část jsem zvolil dvě laboratorní úlohy zaměřené na měření útlumu. Při měření útlumu ať už optického vlákna nebo optického prvku, se můžeme velmi snadno dopustit chyby. V České republice se používají optické zařízení, které běžně pracují na vlnové délce 1310 a 1550 nm. I moje měření byla v tomto rozsahu. První laboratorní úloha je zaměřena na měření útlumu optického vlákna metodou vložených ztrát a následnou lokalizací závady metodou zpětného rozptylu. V závěru první laboratorní úlohy jsou uvedeny důležité věci, které by se měli dodržovat pokud žádáme velmi přesné výsledky. Ať už je to opakovatelnost měření a průměrování výsledků a nebo měření z obou směrů vlákna. Metoda vložených ztrát je jedna z nejpřesnějších metod pro měření útlumu ovšem ne nejpreciznější. S touto metodou nemůžeme lokalizovat případné poruchy na optické trase, taktéž by asi bylo velmi těžké měřit touto metodou velmi dlouhé optické trasy pro jednoho pracovníka.

Proto se v dnešní době hojně používá metoda zpětného rozptylu. Toto měření je velmi praktické v tom, že stačí být na jednom z konců, případně místě optické trasy, kde se dá optická trasa bez porušení rozpojit a může se provádět přímo měření. Metoda je velmi rychlá. Metoda zpětného rozptylu poskytuje velké množství informací o optické trase. Dnes se tato metoda používá pro určení vložného útlumu

kabelových tras nebo součástek, ze kterých jsou trasy složeny. Metoda ovšem neposkytuje nejvyšší přesnost. U přístupových sítí, kde je často složitější topologie trasy, trasa například obsahuje optické odbočnice nebo další součástky, WDM prvky atd., se někdy akceptační měření provádějí pouze v jednom směru, nebo pokud se měří trasa v obou směrech, průměrování hodnot z jednoho a druhého směru postrádá význam a neprovádí se.

Druhá laboratorní úloha popisuje měření útlumu optického pasivního prvku. Pro toto měření je naprosto dostačující metoda vložených ztrát. Doufám, že díky této práci jste se zase o něco více seznámili s optikou jako takou používanou v telekomunikacích. Velkou výhodou je vysoká přenosová kapacita a tím spojená rychlost přenosu dat. Druhou velmi silnou vlastností optiky je její bezpečnost. Lokalizace trasy je téměř nemožné a odposlech optického vlákna taktéž. Nyní i do budoucna je optika v telekomunikacích velmi perspektivní.

LITERATURA

- [1] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Mikrokom, Praha 2001.
- [2] *Acces server* [online]. 9.11.2007 [cit.2008-03-10].
Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz>>.ISSN 1214-9675
- [3] FILKA, M. *Přenosové média*. Skriptum VUT. Brno ES VUT 1988
- [4] SKRIPSKÝ, J. *Měření parametrů optických konektorů*. Vysoká škola Technická v Brně 2005.
- [5] URBAN, František, MIKEL, Břetislav. *Laboratoř optoelektroniky* [online].
2.10.2006 [cit. 2008-04-12]. Dostupné z URL:
<<http://www.umel.feec.vutbr.cz/OKS/>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ADM Add-dropp muldex

ADSL asymetrické digitální účastnické vedení – Asymmetric Digital Subscriber Line

ANSI americký národní standartizační institut – American National Standards Institute

AON aktivní optická síť – Active optical network

APM fyzický kontakt daného úhlu – Angle physical contact

APD fotodetektor – Avalanche PhotoDiode

AWG uspořádaný mřížkový vlnovod – Arrayed Waveguide Grating

B-ISDN širokopásmová digitální síť integrovaných služeb – Broadband integrated Services Digital Network

CATV kabelová televize – Cable television

EIA elektronický průmyslový spolek - Electronic Industries Alliance

FBG vláknová braggova mřížka – Fibre Bragg Grating

FDM s frekvenčním dělením – Frequency Division Multiplexing

FTTB vlákno do budovi – Fibre to the Building

FTTC vlákno k rozvaděči – Fibre to the Curb

FTTH vlákno do domu – Fibre to the Home

FTTO vlákno na důležitá místa – Fibre to the Office

HDSL vysoko rychlostní digitální účastnické vedení – High bit rate Digital Subscriber Line

IEC mezinárodní elektrotechnická komise – International Electrotechnical Commission

ISDN digitální síť integrovaných služeb – Integrated Services Digital Network

JIS japonské průmyslové normy – Japanese Industrial Standards

MM mnohobodové vlákno – Multimode

NA	numerická apertura – Numerical aperture
NT	síťové ukončení – Network terminals
ODN	optická distribuční síť – Optical distribution network
OLT	optické linkové zakončení – Optical line termination
ONU	optická síťová jednotka – Optical Network Unit
OSNR	koeficient dodávaný s optickým signálem – Optical Signal to Noise Ratio
OTDR	metoda zpětného rozptylu – Optical time-domain reflectometry
P2MP	bod-mnohobod – Point-to-multipoint
P2P	bod-bod – Point-to-point
PC	fyzický kontakt – Physical contact
PON	pasivní optická síť – Passive optical network
SCM	dělení s pomocnou nosnou vlnou – Sub Carrier Multiplexing
SDH	synchronní digitální hierarchie – Synchronous Digital Hierarchy
SDM	simplexně s dělením – Space Division Multiplexing
SM	jednobodové vlákno – Siglemode
STM	synchronní přenosový modul – Synchronous Transport Module
TDMA	časově přidělovaný přístup – Time division multiple access
TIA	telekomunikační průmyslové združení – Telecommunications Industry Association
UV	ultra fialové – Ultraviolet
WDM	duplexně s dělením – Wavelength Division Multiplexing
xDSL	digitální účastnické vedení – Digital subscriber line
λ_{Bragg}	Braggova rezonanční vlnová délka
α_R	činitel ztrát
z	délka

l	délka vlákna
D	disperze
n_{eff}	efektivní vidový index
n_1, n_2	indexi lomu
α	koeficient útlumu
S	koeficient zpětného rozptylu
A_m	naměřený výkon
V	normovaná frekvence
Λ	perioda mřížky
N	počet vidů
a	poloměr vlákna
P_b	rozptýlený výkon
c	rychlost světla ve vakuu
v_g	skupinové zpoždění
τ_g	skupinové zpoždění optického signálu
Δ_t	šířka impulzu
u	útlum
A_c	útlum konektoru
A_f	útlum vlákna
λ	vlnová délka
IL	vložený útlum
P_1	vstupní výkon
P_0	výkon obdélníkového impulzu
P_2	výstupní výkon